

あぶくま洞における鍾乳石の分布を規定する地形要因： 3D レーザー測量データを用いた解析

2013 年 3 月 自然環境学専攻 47-116618 高山知美
指導教員 教授 小口高

キーワード：地上型 3D レーザースキャナー，鍾乳石，地形要因，あぶくま洞，つらら石

1. 序論

鍾乳石の研究は様々な分野で行われている。しかし，分布について地形学的な解析を行ったものは少ない。また，洞窟内を 3D レーザースキャナーで測量・調査した研究はいくつか行われているが，地形学的な解析が行われたものは少ない。そこで本研究では，3D レーザースキャナーを用いて鍾乳石の計測を行い，鍾乳石の発生と地形の関係を調査した。

2. 研究対象地

研究対象地は，福島県田村市のあぶくま洞である。あぶくま洞の入口は標高 622m に位置し，総延長は現在 3,104.2 m まで確認されており，高低差が最低でも 149 m ある。あぶくま洞は現在、田村市の天然記念物に指定されている。そのため，鍾乳石の保存状態が良い。また，鍾乳石が豊富で空間も広いため，調査に適していると考えた。

3. 現地測量とつらら石の抽出

3D レーザースキャナーを用いた測量，スキャン・オブジェクトの結合，点群と座標値の抽出を行った。測量には 3D レーザースキャナー GLS-1500（トプコン）を用いて現地測量を行った。測量はあぶくま洞の滝根御殿で，2012 年 7 月 6 日と 7 月 13 日の 2 日間行なった。測量で得られた点群のポイント数は，計 12,489,221 点であった。次に，ScanMaster（トプコン）を用いて，複数の点群を 1 つに繋げた。そして，作成した 3D 点群から，Image Master（トプコン）を用いてつらら石の座標と天井面の点群を抽出した。つらら石の先端の座標は，手動で 2,328 個抽出した。

4. 地形解析

GIS ソフトウェア ArcGIS（ESRI 社製）を用いて，1 m 解像度のグリッド・セルにおけるつらら石の本数，傾斜角の平均値，傾斜角の標準偏差（図 1），曲率の絶対値を求め，それぞれの関係を調べた。その結果，傾斜角の平均は中間的な傾斜の場所で，傾斜角の標準偏差と曲率の平均値は値が大きいほど，つらら石保有セル率（つらら石保有セル／セル数）と 1 セルあたりのつらら石数（つらら石数／セル数）が増加することが分かった。

また，天井面を 3 つのエリアに分け（図 2），傾斜角ラスタと曲率ラスタの空間自己相関を求めた結果，傾斜角のラスタは相関あり，曲率のラスタは相関なしとなった。この 3 つのエリアで，各エリアごとにつらら石保有セル率，1 セルあたりのつらら石数，傾斜角の平均値・標準偏差，曲率の絶対値を求めた。その結果，(a) は傾斜角の標準偏差が 20～30°，曲率の絶対値が 1000～10000 m⁻¹ の場所ですらら石が多く発生していた。(b) は傾斜角の

標準偏差と曲率が大きい場所につらら石が発生しやすい傾向が明瞭であった。(c) はつらら石保有セル率と1セルあたりのつらら石数が、最も小さいエリアであった。

5. 考察

傾斜が極端に小さいと、水が集まりにくく、極端に大きいと、水が急速に流れたり集中せずに落下してしまうために、つらら石ができにくくなり、中間的な傾斜の場所ではつらら石の発達が良いと考えられる。また、傾斜角の標準偏差が大きい場所では、傾斜の細かい変化により水流の速度が低下し、局所的な水流の集中が生じるために、つらら石の発達が良く解釈できる。天井面の湾曲が大きい場所でも、水流が特定の場所に集中しやすいと考えられる。

空間自己相関の値から、傾斜角はより大局的な地形の特徴を示し、曲率はより局所的な地形の特徴を示すためと推察される。本研究の結果は、このようなやや異なるスケールの地形の特徴が、共に水流の特徴を規定することを示唆している。

3エリアではそれぞれ違った特徴が認められた。エリア(a)では、壁面からの水の放出の寄与も大きいため、天井面の地形とつらら石の分布との対応が相対的に弱くなったと考えられる。エリア(b)では、前記のように表面の水流の速度と集中度が地形に規定されるためと考えられ、つらら石の発生も多いエリア(b)で、このような現象が明瞭なことを意味している。エリア(c)は傾斜角の標準偏差と曲率の絶対値が相対的に小さく、つらら石ができやすい水流の条件が生じにくいためと考えられる。また、薄く長いカーテン状のつらら石が複数存在している。これは、傾斜角の変化が少ないために壁面を伝う水が落下する場所が限られ、長いつらら石が発達しやすくなったと考えられる。

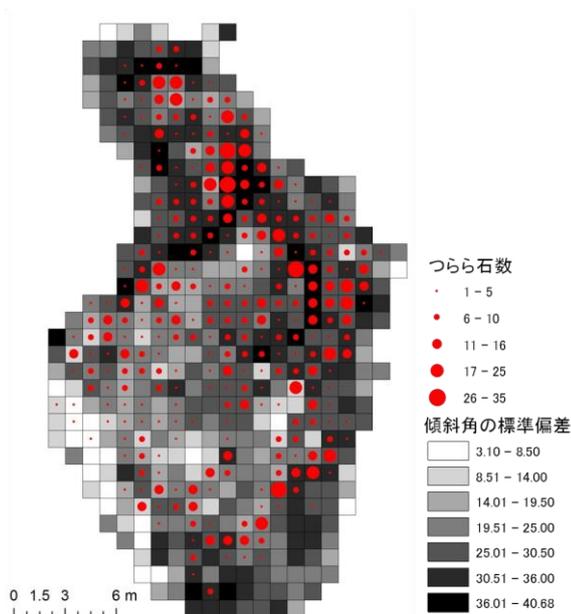


図1. 傾斜角の標準偏差とつらら石の分布

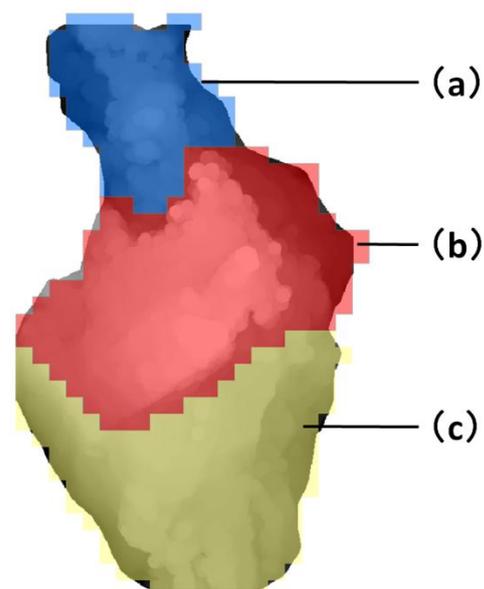


図2. 空間自己相関を分析したエリア
(空間を上から俯瞰した図)

Geomorphological Factors Affecting Speleothem Distribution in the Abukuma Cave, Japan: A 3D Laser Scanning Approach

Mar. 2013 Department of Natural Environmental Studies 47-116618 Tomomi TAKAYMA
Supervisor Prof Takashi OGUCHI

Keyword: 3D laser scanner, Speleothems, Geomorphological factors, Abukuma Cave, Stalactites

1. Introduction

Researchers of various fields have studied speleothems. However, there is a few research of speleothems distribution based on geomorphological analysis, although some surveyed caves with a 3D laser scanner. This study aims to measure speleothems using a 3D laser scanner and analyze the relationship between speleothem occurrence and geomorphological conditions.

2. Study area

The study are is the Abukuma Cave in Tamura City, Fukushima prefecture. The entrance of the cave is at 622 m above sea level. Its total length is 3,104.2 m, with at least 149 m in relative height. The cave has well-preserved speleothems because it is designated as a protected monument in Tamura City. In addition the cave has large chambers, making it suitable for speleothem research.

3. Field survey and 3D point cloud analysis

An inner space named Takine-goten in the Abukuma Cave was scanned by a 3D laser scanner GLS-1500 (TOPCON) on 6 and 13 July 2012. Three-dimensional coordinates of 12,489,221 points were obtained. A point cloud was compiled using the ScanMaster software (TOPCON). Using the Image Master software (TOPCON), the coordinates of 2,328 tips of stalactites were extracted from the original point cloud manually. Points of ceiling of the Takine-goten were converted into a 5-cm resolution DEM, and after removing the stalactites by filtering, morphological parameters (slope angle and curvature) were computed.

4. Geomorphological analysis

The relationships between the number of stalactites, average of slope angle, standard deviation of slope angle (Fig. 1) and absolute value of curvature were summarized at each 1 m resolution grid cell using the ArcGIS (ESRI) software. As a general trend, the ratio of cells with stalactites and the number of stalactites in each cell tend to increase where slope angle is intermediate, the standard deviations of slope angle is high, and the absolute values of curvature is high.

The ceiling surface was divided into three areas (a, b and c), and for each area the measure of spatial autocorrelation was calculated (Fig. 2). The result indicates that the slope raster shows an autocorrelation but the curvature raster does not. The ratio of cells with stalactites, number of stalactites in each cell, average of slope, standard deviation of slope, and absolute value of

curvature were calculated in the three areas. In area (a), a lot of stalactites occur at places with slope standard deviation values of 20–30° and absolute curvature values of 1000–10000 m⁻¹. In area (b), stalactites tend to occur where the standard deviation of slope and absolute value of curvature are high. In area (c), the ratio of cells with stalactites and the number of stalactites in each cell are the lowest among the three areas.

5. Discussion

Water does not concentrate markedly where slope angle is low, whereas water runs rapidly and falls down without clear concentration where slope angle is high. Therefore stalactites tend to occur where slope angle is intermediate. Stalactites develop well where the standard deviation of slope is high because water concentrates locally under slow flow velocity due to frequent change in slope. Water tends to concentrate at particular locations with large curvature. The values of spatial autocorrelation suggest that slope reflects relatively large scale landforms whereas curvature reflects more local characteristics. The result of this study suggests that characteristics of landforms in different scales affect water flow.

Different geomorphological characteristics are found in each of the three areas (Fig. 2). The relation between the topography of the ceiling surface and the distribution of stalactites is relatively weak in area (a), because of the contribution of water seepage from the rock surface. In area (b), flow velocity and water concentration on the ceiling surface are more strongly affected by topography. This phenomenon is also clear for all samples because there are much more stalactites in the area than the other two areas. In area (c), less stalactites occur because of the low standard deviations of slope and low absolute values of curvature. However, there are some thin and long stalactites like a curtain. Such stalactites have developed because change in slope is small and thus dripping of water flow from rock surfaces is limited.

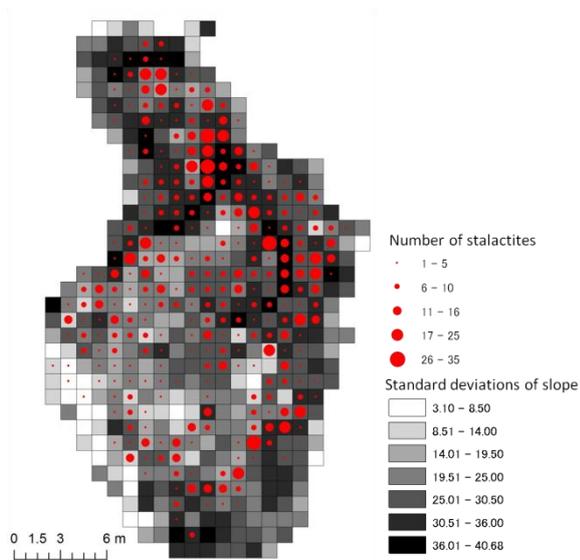


Fig.1. Standard deviation of slope and distribution of stalactites

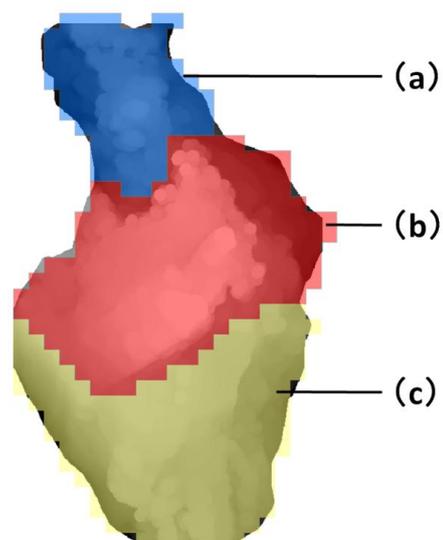


Fig.2. Three areas of the ceiling surface